GENERADORES GABRIEL TERRA

EFLUVIOS POR EFECTO CORONA

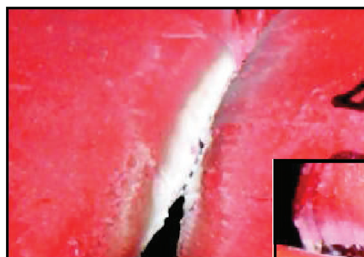
Los cuatro generadores de la Central Hidroeléctrica Dr. Gabriel Terra (Rincón del Bonete), fueron renovados entre 1994 y 1997. Los generadores son de potencia nominal 40 MVA, tensión de salida 13,8 kV, frecuencia 50 Hz, 48 polos (velocidad 125 R.P.M.).

En 2006, en el generador N°4, vibraciones elevadas de frecuencia fundamental 100Hz, provocaron dos roturas en las cañerías de refrigeración del alternador, y la rotura del detector de nivel de aceite en el cojinete guía del alternador. En la búsqueda de causas de la vibración y otros problemas causados por la misma, se decide quitar la totalidad del techo de la carcaza, techo de la llanta del alternador, y deflectores de aire, pudiendo observar la barras puentes directamente. Las mismas presentaban numerosas (no menos de 50) manchas de efluvios entre si, polvo blanco o “white power” característico del efecto corona en bobinados clase F.



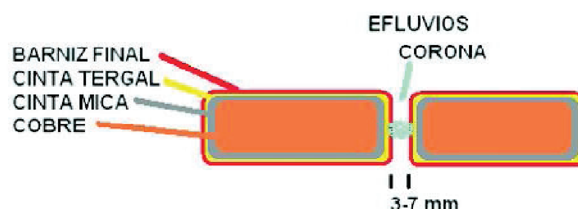
El polvo blanco, es ceniza del barniz de resina, quemado por oxidación, que produce el ozono O_2 generado por el efluvio o efecto corona en el aire.

El polvo blanco fue limpiado con papel de lija y trapo, dejando al descubierto socavaciones importantes en la capa de fieltro y cinta tergal de las barras puente.





Se desconocía si la profundidad de las socavaciones había llegado hasta la capa de aislamiento de mica, poniendo en riesgo la integridad del aislamiento, lo que podría finalizar en un cortocircuito fase-fase en el generador.



Un cortocircuito fase-tierra en un generador, es un cortocircuito relativamente “inocuo”, que provoca daños mínimos y fácilmente reparable, ya que el neutro de los generadores está aterrado con una impedancia muy alta. Pero un cortocircuito fase-fase provoca corrientes del orden de decenas de kiloamperios, lo que probablemente incendiaría la totalidad del bobinado, antes de que la protección eléctrica (relé diferencial) y de temperatura (contacto térmico en el bobinado a 120°C) logren detectarlo y provoquen el disparo del generador (apertura del interruptor de 150 kV y parada de la turbina).

Luego del hallazgo en el generador 4, se inspeccionaron los generadores 1, 2 y 3, introduciendo una cámara fotográfica digital por debajo de los deflectores, y tomando numerosas fotografías. En algunas de ellas se pudo visualizar efluvios similares a los del generador 4.

Buscando antecedentes de este problema en otras centrales del mundo, encontramos la Central "Twin Falls" 2 x 13 MVA x 13,8 kV. Los dos generadores entran en servicio en 1990, en 1996 aparecen puntos con corona, en 1999 se limpia con CO_2 y repara (barniza) los daños por corona. Pero en 2002 el generador N°1 falla en un cortocircuito entre fases.



Incendio del generador de Twin Falls

Licitación

Inmediatamente se contacta al fabricante de los generadores para evaluar las causas y soluciones posibles. Dado que no es posible una contratación directa del fabricante para reparar los bobinados, se realiza un llamado a licitación en 2007. El llamado convocaba a interesados en presentar soluciones y ejecutarlas, tanto para reparar los daños ya provocados en los bobinados, como evitar nueva aparición de efluvios en el futuro. Se presentan tres ofertas de fabricantes de bobinados de nivel internacional, Alstom, Siemens y Woogroup. National Coil, empresa líder en el mercado de EEUU en cuanto a fabricación, investigación y reparación de bobinados de generadores, no pudo presentar su oferta en tiempo y forma, por razones propias de la empresa, pero manifestó su particular interés, y total apoyo técnico para resolver el problema si UTE lo requiriera.

Limpieza y Ensayos

Previendo que el llamado a licitación y la realización de los trabajos en los cuatro generadores, llevaría no menos de dos años en su proceso, se decide realizar un ensayo del aislamiento de cada generador y su limpieza si se consideraba necesario. El ensayo de índice de polarización con "Megger" de 5kV, no detectó ninguna anormalidad, en ninguno de los cuatro generadores, ni el índice IP fue bajo, ni bajos valores de aislamiento entre las fases y masa. Los ensayos de rampa corriente continua 0-27kV, sí detectaron un problema en el generador N°3, y su mejoría luego de una limpieza de los efluvios entre barras puente. En este bobinado se encontró que a una tensión de 24 KVCC se disparaba la corriente de fuga (de micro amperios), indicando una posible "pinchadura" del aislamiento si se continuaba subiendo la tensión continua aplicada, hasta los 27 KVCC aplicados en el ensayo. También se realizaron ensayos de descargas parciales (ensayo en corriente alterna), a dtensión aplicada 70% de la nominal 13,8kV.

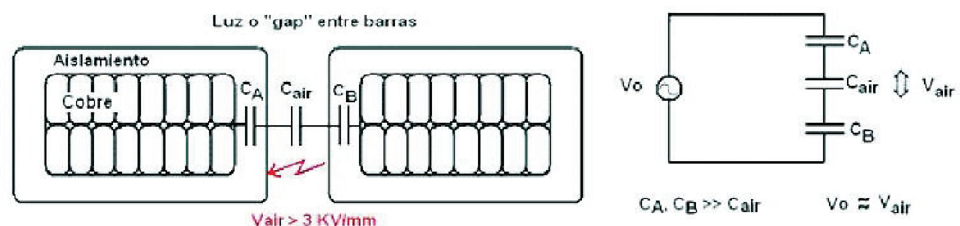
El bobinado del generador N°3 fue limpiado con papel de lija y trapo, lo que mejoró significativamente el nivel de descargas parciales y permitió realizar el ensayo de rampa de corriente continua hasta 27 kV.

Soluciones propuestas

Las soluciones propuestas en las ofertas básicamente eran dos: reparar el aislamiento dañado y pintar con barniz denominado anti-efluvios (barniz semiconductor), y reparar el aislamiento dañado y rellenar las "luces" o "gaps" existentes. La primera solución propuesta, era una solución clásica o conservadora, que todo fabricante utiliza para prevenir efluvios o corona en los bobinados, en la zona de salida de las barras de su ranura. Pero no existe evidencia teórica, ni experimental de que dicha técnica resuelva problemas de corona entre barras puentes. La segunda solución, aunque innovadora y sin referencias de aplicación en otros generadores del mundo, pero con una teoría explicando el problema y solución que la respaldara, fue la finalmente elegida, aunque por motivos económicos y administrativos por tratarse de una licitación pública.

Más tarde durante la ejecución de los trabajos, quedó demostrado que la primera solución propuesta, no era una solución aceptable. Se pintaron barras puentes con pintura semiconductora (anti-efluvios), sin rellenar las luces o "gaps", y luego en el ensayo de BLACK OUT, aparecía nuevamente efecto corona en ese sitio o en nuevos puntos cercanos.

La solución propuesta, consistente en rellenar las luces o "gaps" con fibra y fieltro tergal embebido en resina, se basa en la teoría del problema. Las capacitancias C_A y C_B, surgen entre las barras de cobre y las superficies pintadas con barniz final o semiconductor, con el aislamiento como dieléctrico. La capacitancia C_{air} surge entre las superficies de ambas barras, con el aire como dieléctrico. El valor de la capacitancia (pico-Faradios) depende del espesor de los aislamientos y su constante dieléctrica. Cualquiera sean esos valores, C_A y C_B son órdenes de magnitud mayores a C_{air}, por lo que la tensión V_{air} se acerca mucho a V_o la tensión entre barras, y si supera la rigidez dieléctrica del aire, los 3 kV/mm, se produce una descarga parcial en cada uno de los semiciclos de 50 Hz. Con el pasar de los años (unos 5 años), esa pequeña descarga va quemando (debido al ozono producido) y erosionando la superficie del aislamiento.



En un bobinado de tensión nominal 13,8 kV entre fase y fase, en teoría aparecen efluvios en las luces o “gaps” menores a 6,5 mm. En la práctica el problema es más complejo y responde a la curva de Paschen. Al rellenar las luces con material aislante, se soluciona el problema porque la rigidez dieléctrica de estos materiales es unas 100 veces mayor a la del aire.

13,8 kV x 1,4142 / 3 kV/mm = 6,5 mm

La propuesta de rellenar las luces o “gaps” entre barras, dejaba dudas respecto al comportamiento térmico de las barras puentes, ya que se disminuiría la superficie de disipación de calor. Pero esta preocupación fue dejada de lado, ya que los generadores de Gabriel Terra funcionan relativamente “fríos”, con una temperatura promedio del bobinado de 75℃, cuando el diseño del bobinado Clase F, es para 140℃ en general y 155℃ para los puntos más calientes.

Horas de Marcha

Se armó un cronograma de trabajo en base a las horas de marcha de las unidades, asumiendo que guardaba relación directa con el problema del efecto corona. La unidad 2 debería ser la que tenga menor daño por los efluvios ya que estaba retrasada más de 10.000 horas respecto a las otras unidades.

UNIDAD	RENOVADA	HORAS MARCHA 2005-01-01	LIMPIEZA A FONDO DEL BOBINADO	ÚLTIMOS ENSAYOS
1	1996	51.460	—	68.000 (2008)
2	1997	45.739	—	62.000 (2008)
3	1994	59.470	69.989 (2007)	75.600 (2008)
4	1995	53.894	60.257 (2006)	70.700 (2008)

En uno de los puntos se hallaron manchas de sulfato de cobre, lo que indica que humedad ha penetrado al aislamiento y llegado al cobre de las barras puente.

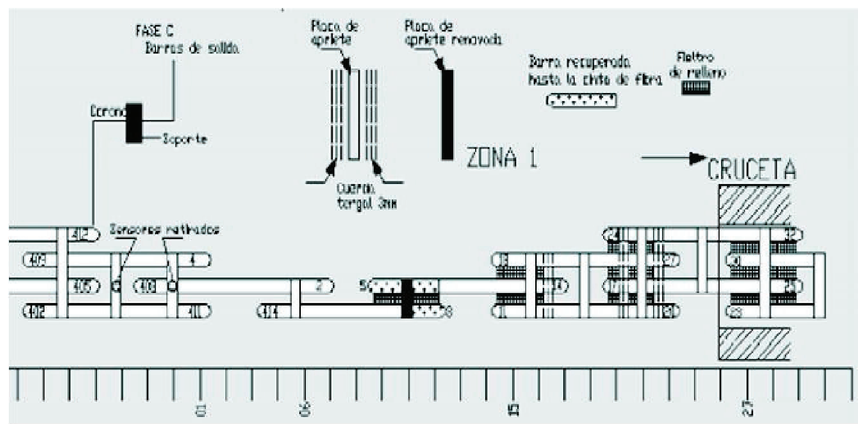


Control de Obra

Se realizó un control de obra y seguimiento, tanto técnico como administrativo de los trabajos, por parte de UTE, con un técnico Controlador de Obra, los ingenieros de la Central Hidroeléctrica y de las oficinas de Montevideo. El contralor de obra consistió en un relevamiento y mapeo de los efluvios encontrados, por el rastro de polvo blanco, las socavaciones del aislamiento y los hallazgos de los ensayos de BLACK OUT.

Reparación del Generador N°4

El primer generador a ser reparado fue el N°4 por ser el que estaba sometido a vibraciones, luego el N°3, N°2 y N°1, respetándose en esta secuencia el número de horas de marcha de los mismos desde su renovación en 1994-97.



En este bobinado el técnico especialista en devanadados, comenzó realizando prospecciones en las uniones y ataduras de barras puentes, en las zonas afectadas y en las zonas no afectadas, con el fin de comparar el estado de los materiales, la profundidad de los daños, entrada de humedad por las socavaciones o por el envejecimiento normal del bobinado. Salvo en un solo punto con daño por corona, que se encontró coloraciones azuladas (sulfato de cobre), lo que indica que la humedad llegó al cobre a través del aislamiento, los demás puntos estaban en buen estado de conservación del aislamiento, sin llegar a las capas inferiores de aislamiento de mica.

Para ello se dibujó un esquema de la topografía de los puentes, donde se identificó cada uno de los efluvios, referenciándolos con el número de la ranura, se indicaron todos los trabajos de reparación realizados. En el comienzo entre las ranuras 10 y 130 donde el daño era mayor, luego en la mitad del bobinado ranuras 10 a 220, ya que se encontró en el generador N°3 nuevas barras afectadas entre las ranuras 130 y 220.

Calidad, Seguridad y Medio Ambiente

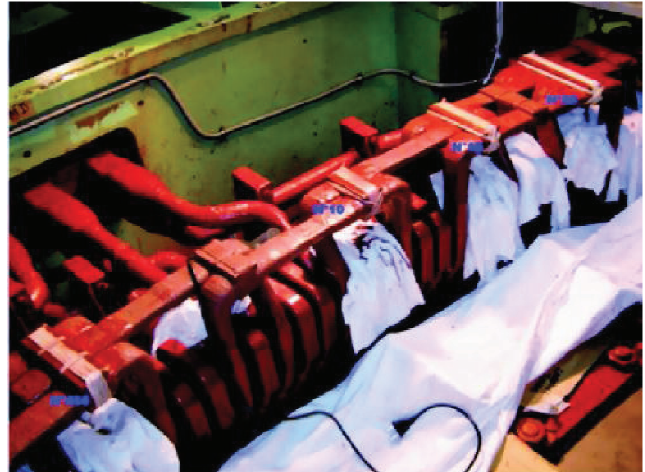
Todos los trabajos se realizaron según cronogramas de trabajo y procedimientos escritos y aprobados por UTE, presentados en la oferta primero, discutidos entre el Contratista y técnicos de UTE después. Los materiales empleados contaban todos con sus fichas técnicas y hojas de seguridad. Los operarios del Contratista trabajaron todos con los elementos de protección personal necesarios (casco, guantes, máscara, gafas). Los residuos producidos por los trabajos fueron mantenidos en contenedores separados de los residuos habituales de la Central Hidroeléctrica, para su posterior disposición final debidamente envasados.



Generadores 3, 2 y 1

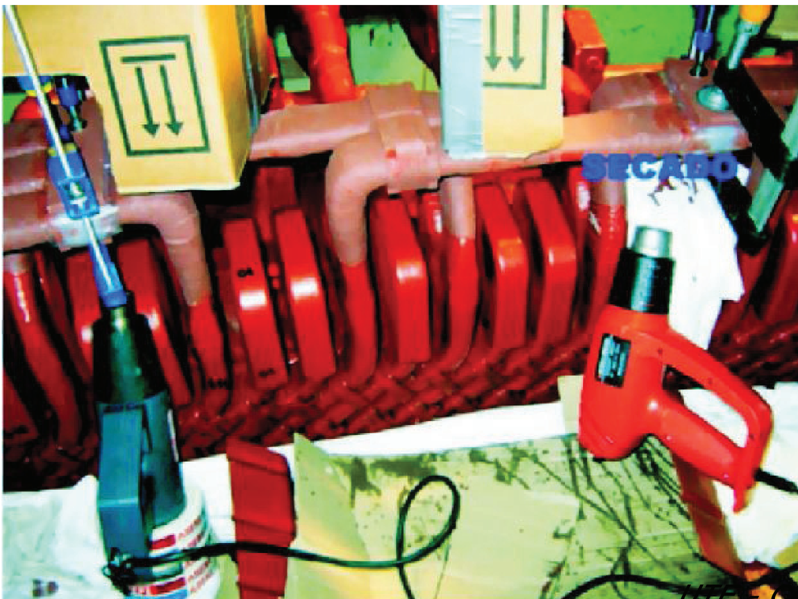
En comparación con el generador N°4, en los demás generadores se encontró aislamientos en mejor estado. A pesar de contar con mayor número de horas de marcha el generador N°3, no tiene niveles de vibraciones como el N°4, lo que probablemente haya contribuido a la aceleración del daño pro corona del generador N°4.

Los trabajos de reparación del bobinado demandaron unas 3 semanas en el generador N°4, para luego optimizarse en 2 semanas en los demás generadores, una vez que el técnico bobinador y el personal mejoraron la técnica del trabajo. En la práctica las cuatro unidades estuvieron detenidas 4 semanas, debido a otros problemas encontrados durante el mantenimiento de las turbinas, pero siempre en cumplimiento de los plazos acordados previamente entre UTE y el Contratista.



Ensayo con cámara corona

En el generador N°1, complementariamente al ensayo BLACK OUT de aceptación de los trabajos, se realizó un ensayo con una cámara corona (ultravioleta). Servicios prestados por una empresa argentina, especializada en el monitoreo de efecto corona en líneas de alta tensión. La pantalla de la cámara muestra "chispas" en el espectro ultravioleta, traducidas por la cámara al espectro visible para el hombre. También muestra un conteo que permite cuantificar la intensidad de los efluvios por corona.



Conclusiones

El problema de efluvios por efecto corona, es un problema importante, que no puede ser menospreciado. En el caso de los generadores de Gabriel Terra, el problema fue detectado justo a tiempo, antes de que el deterioro del aislamiento fuese irreversible, o se disparara la aceleración del mismo llegando a la falla.

Ing. Elect. Pablo Thomasset
UTE - Central Hidroeléctrica Dr. Gabriel Terra